

Комплексная матричная модель представления данных и знаний для дорожно-климатического районирования территорий и результаты её апробации

А.Е. Янковская^{а,б,в,г}, А.В. Сухоруков^а

^а Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, пл. Соляная 2, Томск, Россия

^б Национальный исследовательский Томский государственный университет, 634050, пр. Ленина, 36, Томск, Россия

^в Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050, пр. Ленина 2, Томск, Россия

^г Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 634050, пр. Ленина, 40, Томск, Россия

Аннотация

Для решения задачи дорожно-климатического районирования территорий с применением интеллектуальной системы предложена комплексная матричная модель представления данных и знаний, состоящая из 1) расширенной матричной модели, включающей расширенную матрицу описаний и различий (расширение осуществлено путём включения в матрицу описания дополнительных столбцов) по исследованным территориям, 2) матриц описания и различия знаний высококвалифицированных экспертов и 3) частичной матричной модели, состоящей только из расширенной матрицы описаний исследуемых (распознаваемых) территорий. Впервые приведены оригинальные результаты апробации интеллектуального анализа данных и знаний с использованием разработанной и развитой в лаборатории интеллектуальных систем Томского государственного архитектурно-строительного университета интеллектуальной системы ИМСЛОГ применительно к решению задачи дорожно-климатического районирования.

Ключевые слова: комплексная матричная модель; интеллектуальный анализ данных; результаты апробации; геокомплекс; дорожно-климатическое районирование.

1. Введение

Настоятельная необходимость применения интеллектуальных систем (ИС) для различных проблемных областей не вызывает сомнений. Среди основных применений ИС в монографии [1] отмечаются следующие области: медицина, инженерия, транспортные системы и др. При этом одной из основных компонент ИС является наличие базы данных и знаний, формированию которых далее уделяется основное внимание.

Учёт региональных особенностей признаков географического комплекса территорий при разработке норм проектирования и строительства автомобильных дорог в отечественной и зарубежной практиках реализуется на основе метода дорожно-климатического районирования, служащего основой при разработке строительных норм, директив и руководств, действующих в России [2,3], КНР [4], США [5], ФРГ [6], Великобритании, Швеции [7] и других стран, в том числе и ближнего зарубежья, таких как Казахстан [8], Белоруссия [9], Киргизия [10]. Согласно нормам, приведённым в [2,3] территория Российской Федерации имеет зональную дифференциацию и разделена на пять дорожно-климатических зон, существенно различающихся по комплексу природно-климатических и инженерно-геологических условий. В свою очередь зоны разделены согласно отраслевым дорожным нормам [2] на 9 подзон, а по своду правил [3] – на 13 подзон. В зависимости от расположения проектируемого участка дороги в той или иной зоне и подзоне проектировщики принимают технические решения, обеспечивающие безопасное и удобное движение транспортных средств согласно требованиям, приведённым в [2,3].

Однако ряд исследователей в публикациях [11,12,13,14] отмечают, что существующее пространственное положение границ зон и подзон на территории, например, Западной Сибири и Дальнего Востока не позволяет обеспечить требуемый уровень эксплуатационной надёжности автомобильных дорог по критерию работоспособность, поскольку не имеет достаточного обоснования. Это приводит к увеличению финансовых и трудовых ресурсов на содержание и восстановление требуемого технического состояния автомобильных дорог. В связи с этим весьма актуальны исследования по применению ИС при разработке новых подходов к дорожно-климатическому районированию, а специфика данных и знаний, которыми исследователи оперируют при решении задачи дорожно-климатического районирования территорий, требует создания новых способов их представления.

Ниже приводится описание комплексной матричной модели представления данных и знаний для ИС дорожно-климатического районирования территорий (ИС ДОКЛИРАЙ), основанной на тестовых методах распознавания образов и средствах когнитивной графики.

2. Комплексная матричная модель представления данных и знаний

Комплексную модель впервые предлагается представлять тремя типами следующих матричных моделей представления данных и знаний [15,16]:

1. Расширенная матричная модель, включающая расширенную матрицу описаний и матрицу различий. Расширение осуществлено путём включения в матрицу описаний [15], задающей описания объектов в пространстве характеристических признаков (ХП) дополнительных столбцов, сопоставленных принудительным признакам: зонам,

подзонам, дорожным районам, опорным пунктам исследованных территорий (в публикации используются результаты исследований на территории Западной Сибири). Столбцы расширенной матрицы описаний сопоставлены ХП, представленных тремя группами факторов, составляющими географический комплекс территории – зональные, интразональные и региональные. Столбцы матрицы различений сопоставлены зонам, подзонам и дорожным районам (используются целочисленные признаки).

2. Матрица описания знаний высококвалифицированных экспертов (без принудительных признаков) и матрица различений, столбцы которой, как и в матрице различений расширенной матричной модели, сопоставлены зонам, подзонам, дорожным районам (используются целочисленные признаки).

3. Частичная матричная модель, состоящая только из расширенной матрицы описаний исследуемых (распознаваемых) территорий.

Далее остановимся на описании значений элементов вышеперечисленных матриц. Целочисленные значения ХП, включая групповые, т.е. признаки, которые расщепляются на признаки, принимающие целочисленные значения, соответствующие некоторым интервалам разбиения признака, а также принудительные признаки являются элементами расширенной матрицы описания объектов (Q^e). Каждому ХП соответствует столбец матрицы Q^e . Каждому опорному пункту, в котором определяются значения ХП, соответствует строка матрицы Q^e . Таким образом, элементом матрицы Q^e служит значение целочисленного ХП, в том числе принудительного, соответствующего одному из опорных пунктов [16]. Отметим, что принудительные признаки не участвуют в выявлении закономерностей, а служат только для картирования положения зон, подзон и дорожных районов.

Целочисленные значения классификационных признаков трёх типов являются элементами матрицы различения (R^e). Ограничимся матрицей различения диагностического типа, при котором каждый последующий столбец разбивает предыдущий на классы эквивалентности. В соответствии с методологией, предложенной в публикациях [17,18], будем использовать три классификационных признака диагностического типа, которые сопоставляются: 1 - й – зонам, 2 - й – подзонам и 3 - й – дорожным районам.

Отметим, что 2-я матричная модель необходима в связи с неполнотой информации, содержащейся в 1-й матричной модели по зонам, подзонам, дорожным районам. Во 2-ой матричной модели строки матрицы описания знаний и матрицы различений заполняются высококвалифицированными экспертами в рассматриваемой проблемной области. Заполнение матриц осуществлено сотрудниками кафедры «Автомобильные дороги» ТГАСУ.

Поскольку в обучающей выборке, представленной расширенной матричной моделью, некоторые сочетания значений классификационных признаков могут отсутствовать, то размерность матриц описания и различений, заполняемых высококвалифицированными экспертами, может существенно превосходить размерность ранее заполненных матриц для расширенной матричной модели. Такая ситуация возможна в связи с тем, что в обучающей выборке ряд сочетаний значений классификационных признаков может отсутствовать.

Расширенная матрица описаний распознаваемых территорий для частичной матричной модели заполняется специалистами на основе справочных данных, а также сведений, полученных в ходе полевых и лабораторных исследований. Результаты исследования могут быть переданы пользователям системы либо в организации, заинтересованные в получении результатов исследований по дорожно-климатическому районированию.

Принятие решений о принадлежности опорного пункта к той или иной зоне, подзоне и дорожному району определяется с использованием двух вышеуказанных матричных представлений (расширенного и с применением экспертных знаний) на основе правил принятия итогового решения.

3. Структуризация данных и знаний

Для создания интеллектуальной системы, составляющей основу разрабатываемой информационной технологии дорожно-климатического районирования территорий, впервые совместно с когнитологами и экспертами по дорожно-климатическому районированию осуществлена структуризация данных и знаний по дорожно-климатическому районированию на основе предлагаемой комплексной матричной модели представления данных и знаний.

Сформированный перечень ХП с указанием их значений для матриц описания представлен в таблице 1. Характеристические признаки, начиная с z_{10} являются групповыми. Символьные характеристические признаки кодируются цифрами. Также интервалы значений разбиения целочисленного, принимающего значение более 20, и вещественные характеристические признаки кодируются числами. Число 20 используется только в целях сокращения размеров матричного представления данных и знаний.

Таблица 1. Перечень характеристических признаков за исключением принудительных

Характеристический признак	Код	Интервалы значений
тип растительности	z_1	1 – растительность тундры; 2 – растительность лесотундры; 3 – лесная (северная тайга, с распространением вечнозелёных грунтов) растительность; 4 – лесная (средняя тайга) растительность; 5 – лесная (южная тайга) растительность; 6 – лесостепная растительность; 7 – степная растительность; 8 – пустынная и пустынно-степная растительность

Характеристический признак	Код	Интервалы значений
рельеф местности	Z ₂	1 – равнинный с относительным превышением рельефа (ОПР) до 25 м; 2 – холмистый с ОПР от 25 м до 200 м; 3 – горный (низкогорная местность) с ОПР от 200 м до 500 м и преобладающей крутизной скатов (ПКС) от 5° до 10°; 4 – горный (среднегорная местность) с ОПР от 500 м до 1000 м, ПКС от 10° до 25° и высотой над уровнем моря порядка 1000–2000 м; 5 – горный (высокогорная местность) с ОПР от 1000 м, ПКС более 25° и высотой над уровнем моря свыше 2000 м
расчётная влажность грунта, д. ед.	Z ₃	1 – малая влажность грунта с РВГ до 0,4; 2 – нормальная влажность грунта с РВГ от 0,4, до 0,6; 3 – повышенная влажность грунта с РВГ от 0,6, до 0,8; 4 – переувлажнённый грунт с РВГ от 0,8, до 1
испарение с поверхности суши, мм в год	Z ₄	1 – крайне низкое от 100 мм до 150 мм (арктические пустыни); 2 – очень низкое от 150 мм до 200 мм (сибирские провинции тундр); 3 – низкое от 200 мм до 400 мм; 4 – среднее от 400 мм до 600 мм (тайга, центральные и центрально-черноземные области РФ, Краснодарский край); 5 – повышенное от 600 мм до 700 мм (смешанные леса); 6 – высокое от 700 мм до 800 мм; 7 – очень высокое от 800 мм до 900 мм (степи); 8 – крайне высокое от 900 мм до 1000 мм (полупустыни и пустыни)
гидротермический коэффициент Селянинова	Z ₅	1 – избыточное увлажнение грунтов с ГКС от 1,4 до 5; 2 – значительное увлажнение грунтов в отдельные годы с ГКС от 1 до 1,4; 3 – недостаточное увлажнение грунтов с ГКС от 0,5 до 1; 4 – засушливые районы с ГКС до 0,5
число дней с отрицательной температурой воздуха	Z ₆	1 – низкое от 141 до 198; 2 – среднее от 199 до 256; 3 – высокое от 257 до 315
высота снежного покрова, мм	Z ₇	1 – бесснежные районы с ВСП до 300; 2 – малоснежные районы с ВСП от 300 до 500; 3 – умеренно-снежные районы с ВСП от 500 до 700; 4 – многоснежные районы с ВСП от 700 до 1000; 5 – исключительно многоснежные районы с ВСП от 1000 до 2900
глубина промерзания грунтов, см	Z ₈	1 – малая глубина с ГПГ от 50 до 180; 2 – средняя глубина с ГПГ от 180 до 220; 3 – большая глубина с ГПГ от 220 до 260; 4 – очень большая глубина с ГПГ от 260 до 300; 5 – сверхбольшая глубина с ГПГ от 300 до 600
разновидность грунта по естественному состоянию в условиях 1 ДКЗ	Z ₉	1 – сплошное распространение многолетнемерзлых грунтов; 2 – в основном сплошное распространение многолетнемерзлых грунтов; 3 – преимущественно островное распространение многолетнемерзлых грунтов
многолетняя среднегодовая температура воздуха, °С	Z ₁₀	1 – крайне низкая температура с СТВ от -15,5 до -10,0; 2 – очень низкая температура с СТВ от -10,0 до -6,0; 3 – низкая температура с СТВ от -6,0 до -2,0; 4 – средняя температура с СТВ от -2,0 до 2,0; 5 – высокая температура с СТВ от 2,0 до 6,0; 6 – очень высокая температура с СТВ от 6,0 до 10,0; 7 – крайне высокая температура с СТВ от 10,0 до 14,2
многолетняя среднегодовая минимальная температура воздуха, °С	Z ₁₁	1 – крайне низкая менее -40,0; 2 – очень низкая температура от -39,9 до -32,0; 3 – низкая температура от -31,9 до -24,0; 4 – средняя температура от -23,9 до -16,0; 5 – высокая температура от -15,9 до -8,0; 6 – очень высокая температура от -7,9 до 0,0; крайне высокая температура выше 0,0.
многолетняя среднегодовая максимальная температура воздуха, °С	Z ₁₂	1 – крайне низкая от 0 до 4; 2 – очень низкая температура от 4 до 7; 3 – низкая температура от 8 до 11; 4 – средняя температура от 12 до 15; 5 – высокая температура от 16 до 19; 6 – очень высокая температура от 20 до 23; 7 – крайне высокая температура выше 24
многолетнее годовое количество осадков, мм	Z ₁₃	1 – малое количество осадков менее 250; 2 – среднее количество осадков от 251 до 500; 3 – высокое количество осадков от 501 до 1000; 4 – очень высокое количество осадков более 1000
многолетнее годовое количество осадков за холодный период, мм	Z ₁₄	1 – малое количество осадков менее 60; 2 – среднее количество осадков от 61 до 150; 3 – высокое количество осадков от 151 до 405; 4 – очень высокое количество осадков более 405
многолетнее годовое количество осадков за тёплый период, мм	Z ₁₅	1 – малое количество осадков менее 190; 2 – среднее количество осадков от 191 до 340; 3 – высокое количество осадков от 341 до 600; 4 – очень высокое количество осадков более 600
влажность грунта на границе текучести, д. ед.	Z ₁₆	1 – низкая влажность от 0,29 до 0,33; 2 – средняя влажность от 0,34 до 0,38; 3 – высокая влажность от 0,39 до 0,43
влажность грунта на границе раскатывания, д. ед.	Z ₁₇	1 – низкая влажность от 0,20 до 0,23; 2 – средняя влажность от 0,24 до 0,26; 3 – высокая влажность от 0,27 до 0,30
число пластичности, %	Z ₁₈	1 – несвязные грунты (песок и другие) от 0 до 1; 2 – супесь от 1 до 7; 3 – суглинок лёгкий от 7 до 12; 4 – суглинок тяжёлый от 12 до 17; 5 – глина лёгкая от 17 до 27; 6 – глина тяжёлая от 27
гранулометрический состав супесей, содержание песчаных частиц, % по массе	Z ₁₉	1 – супесь песчаная ≥ 50 ; 2 – супесь пылевая < 50

Характеристический признак	Код	Интервалы значений
гранулометрический состав супесей, содержание пылеватых частиц, % по массе	z ₂₀	1 – низкое от 70,540 до 73,279 ; 2 – среднее от 73,280 до 76,019 ; 3 – высокое от 76,020 до 78,760
гранулометрический состав супесей, содержание глинистых частиц, % по массе	z ₂₁	1 – низкое от 7,120 до 9,150 ; 2 – среднее от 8,160 до 11,199 ; 3 – высокое от 11,200 до 13,240
гранулометрический состав суглинков, содержание песчаных частиц, % по массе	z ₂₂	1 – суглинок песчанистый ≥ 40; 2 – суглинок пылеватый < 50
гранулометрический состав суглинков, содержание пылеватых частиц, % по массе	z ₂₃	1 – низкое от 72,310 до 75,589 ; 2 – среднее от 77,489 до 75,590 ; 3 – высокое от 77,490 до 77,540
гранулометрический состав суглинков, содержание глинистых частиц, % по массе	z ₂₄	1 – низкое от 18,400 до 18,455 ; 2 – среднее от 18,456 до 20,510 ; 3 – высокое от 20,511 до 23,870
гранулометрический состав глин, содержание песчаных частиц, % по массе	z ₂₅	1 – глина песчанистая ≥ 40; 2 – глина пылеватая < 50
гранулометрический состав глин, содержание пылеватых частиц, % по массе	z ₂₆	1 – низкое от 68,954 до 70,080 ; 2 – среднее от 70,081 до 71,205 ; 3 – высокое от 71,343 до 72,329
гранулометрический состав глин, содержание глинистых частиц, % по массе	z ₂₇	1 – низкое от 23,871 до 25,895 ; 2 – среднее от 25,896 до 27,920 ; 3 – высокое от 27,921 до 29,946

К вышеперечисленным XII добавляются 4 принудительных признака. Поскольку исследована только часть территории Западной Сибири, то принудительные признаки (зона, подзона, дорожный район, опорный пункт) заполнены только для 3-х зон (в первой зоне – 1 подзона и 1 дорожный район, во второй зоне – 2 подзоны и 7 дорожных районов, в третьей зоне – 2 подзоны и 3 дорожных района).

На рис. 1 приведём иллюстрирующий пример описания матриц Q^e, R^e и R', представляющих собой частичное описание знаний (используется только часть характеристического признакового пространства и его значений).

									$k_1 \quad k_2 \quad k_3$										
									z_1	z_2	z_3	z_4	z_5	z_6	z_7	z_8	z_9		
$Q^e =$	1	5	1	3	3	3	3	4	4	$R^e =$	2	1	1	$R =$	1	1			
	1	4	1	4	3	3	3	4	4		2	1	1		1	2			
	1	4	1	4	3	3	3	4	4		2	1	1		1	3			
	1	4	1	3	3	3	3	5	4		2	1	2		2	4			
	2	4	1	3	3	2	3	5	4		2	1	2		2	5			
	1	4	1	3	3	2	3	5	4		2	1	2		2	6			
	1	4	1	3	3	3	3	5	4		2	1	2		2	7			
	1	4	1	4	3	3	3	5	4		2	1	2		2	8			
	2	4	1	3	3	3	3	5	4		2	1	2		2	9			
	2	4	1	3	3	3	3	5	4		2	1	2		2	10			
			
	3	4	1	3	3	3	3	5	3		3	1	3		8	24			
2	4	1	3	3	2	3	5	4	2	3	2	9	25						
2	4	1	4	3	3	3	5	3	2	3	2	9	26						
4	4	1	3	2	2	2	5	0	2	3	2	9	27						
3	4	2	3	2	2	3	5	3	2	3	2	9	28						
2	4	2	3	3	3	3	5	0	2	2	2	10	29						
4	4	2	3	3	2	3	5	3	3	2	1	11	30						
4	4	2	3	2	2	3	5	3	3	2	1	11	31						
4	4	2	0	3	3	3	5	0	3	2	1	11	32						
2	4	2	3	3	3	3	5	2	2	2	1	12	33						

Рис. 1. Фрагменты матриц описания и различий.

Для матричной модели, заполняемой экспертами, включены знания экспертов по 4 зонам, всем подзонам, всем дорожным районам. Матрица описаний для частичной матричной модели не строилась, а осуществлялось распознавание исследуемых территорий для ряда сгенерированных примеров.

4. Результаты апробации исследовательского прототипа ИС

В настоящее время создан оригинальный исследовательский прототип ИС ДОКЛИРАЙ, основанной на комплексной матричной модели представления данных и знаний для дорожно-климатического районирования. Создана база данных и знаний по результатам исследований природных и климатических условий отдельных районов Западной Сибири (расширенное матричное представление). Общее количество ХП равно 31, а используемых для проверки на непротиворечивость матричного представления данных и выявления различного рода закономерностей – 27. Четыре признака являются принудительными и не участвуют в выявлении закономерностей. Число строк расширенной матрицы описаний, сопоставленных исследованным опорным пунктам, равно 33, т.е. исследования произведены не по всем зонам, подзонам и дорожным районам на территории Западной Сибири. Были обнаружены и устранены противоречия при нахождении пересечений описаний объектов из разных образов в расширенном матричном представлении данных и знаний.

Сформирована матрица описания знаний высококвалифицированных экспертов (без использования принудительных признаков) и матрица различений, столбцы которой, сопоставлены зонам, подзонам, дорожным районам. Число сгенерированных высококвалифицированными экспертами строк матрицы описаний равно 216. Для каждого из вышеупомянутых матричных представлений обнаружены и устранены противоречия при нахождении пересечений описаний объектов из разных образов. Для контроля данных и знаний на непротиворечивость и для выявления в них закономерностей (неинформативные, обязательные, альтернативные, зависимые характеристические признаки, весовые коэффициенты характеристических признаков минимальные и безызбыточные диагностические тесты) были развиты ранее созданные алгоритмы и средства визуализации информационных структур и закономерностей, а также когнитивные средства обоснования принятия решений, которые использованы специалистами в сфере дорожно-климатического районирования.

Для отображения результатов принятия решений с применением когнитивных средств: 3-симплекс для отображения зон и 2-симплекс (для отображения подзон, если их число равно трём) [19] предлагается использовать свободно распространённую карту местности OSM с наложенным на неё информационным слоем (см. рис. 2).

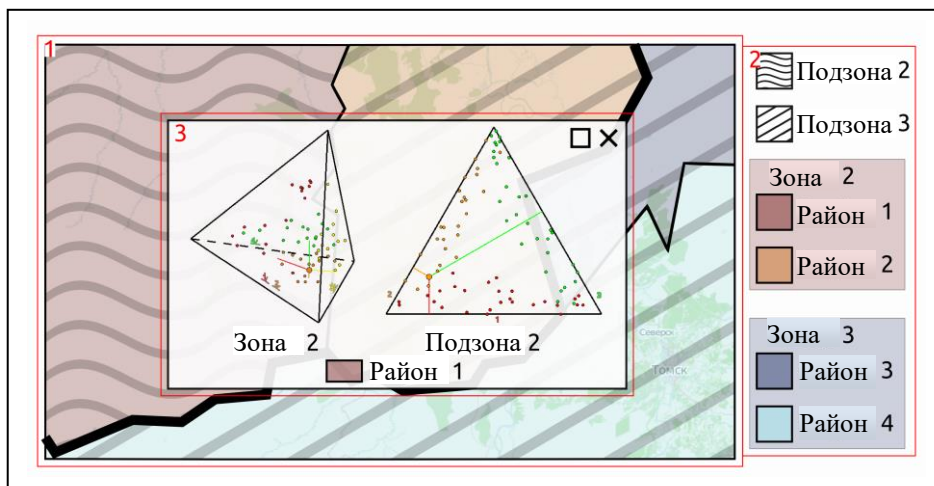


Рис. 2. Средство визуализации карты районирования местности.

Цифрой 1 обозначен информационный слой, который наложен на карту местности с выделенными на ней опорными пунктами. Блок, обозначенный цифрой 2, включает описания всех используемых цветов и штриховок, с помощью которых обозначены зоны, подзоны и дорожные районы. При этом для визуального выделения границ дорожно-климатических зон используются более широкие черные линии, нежели линии границ между подзонами и дорожными районами. При нажатии на любой район всплывает окно, обозначенной цифрой 3, содержащее полную информацию о районе. На данный момент эта информация представляет собой название района, 3-симплекс и 2-симплекс для отображения информации о близости рассматриваемого дорожного района к определенной зоне (левый – 3-симплекс) и подзоне (правый – 2-симплекс). Исследуемый объект (рассматриваемый район) представлен кругом большого радиуса, объекты обучающей выборки представлены кругами меньшего радиуса. Расстояние от объекта до грани прямо пропорционально близости объекта к образу, сопоставленному грани.

С применением оригинальных методов выявлены различного рода закономерности, позволившие сократить признаковое пространство с 27 до 11, что привело к сокращению количества выявляемых значений признаков на 59%. Осуществлена верификация принятия решений по сгенерированным А.Е. Янковской описаниям опорных пунктов. Результаты исследования показали, что развитие предложенной ИС ДОКЛИРАЙ позволит существенно сократить объём и стоимость полевых и лабораторных работ на исследуемых территориях, что, в свою очередь, существенно

сократит временные затраты специалистов дорожной отрасли на определение зоны, подзоны, дорожного района исследуемой территории.

5. Заключение

Приведён анализ отечественных и зарубежных норм проектирования и строительства автомобильных дорог и обоснована целесообразность создания ИС дорожно-климатического районирования территорий.

Впервые предложена комплексная матричная модель представления данных и знаний для дорожно-климатического районирования территорий, на основе которой осуществлена структуризация данных и знаний по дорожно-климатическому районированию. Комплексная матричная модель представлена тремя типами матричных моделей представления данных и знаний: расширенная матричная модель, включающая расширенную матрицу описаний и матрицу различий; матрица описания знаний высококвалифицированных экспертов и матрица различий; частичная матричная модель, состоящая только из расширенной матрицы описаний исследуемых (распознаваемых) территорий.

Создан исследовательский прототип интеллектуальной системы дорожно-климатического районирования территорий. На основе расширенного матричного представления создана база данных и знаний по результатам исследований природных и климатических условий отдельных районов Западной Сибири и база данных и знаний высококвалифицированных экспертов.

Для 1-го и 2-го матричного представления данных и знаний обнаружены и устранены противоречия при нахождении пересечений описаний объектов из разных образов.

Результаты апробации исследовательского прототипа системы дорожно-климатического районирования территорий показали: сокращение на 59% необходимого числа признаков для принятия решения по отнесению исследуемого участка территории к той или иной зоне, подзоне и дорожному району. Использование ИС позволит существенно сократить объём и стоимость полевых и лабораторных работ на исследуемых территориях, что, в свою очередь, существенно сократит временные затраты специалистов дорожной отрасли.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ (проект № 14-07-00673а и проект № 16-07-00859а). Авторы выражают благодарность д.т.н. проф. В.Н. Ефименко, к.т.н. С.В. Ефименко, к.т.н. М.В. Бадиной за информацию по дорожно-климатическому районированию территории Западной Сибири, а так же ст. преподавателю В.С. Чурилину за помощь по дополнению базы данных и знаний; зам. нач. ЦИТа ТГАСУ Аметову Р.В. и м.н.с. ТУСУР Ямшанову А.В. за развитие ИС ИМСЛОГ и выявление закономерностей по созданной базе данных и знаний в области дорожно-климатического районирования, а исп. проекта № 16-07-00859а Китлеру С.В. за проведённый эксперимент.

Литература

- [1] Гаврилова, Т.А. Инженерия знаний. Модели и методы / Т.А.Гаврилова, Д.В.Кудрявцев, Д.И. Муромцев – СПб.: Издательство «Лань», 2016. – 324 с.
- [2] Автомобильные дороги: СП 34.13330.2012. – М.: Министерство регионального развития РФ, 2013. – 106 с.
- [3] Проектирование нежестких дорожных одежд: ОДН 218.046-01. – М.: Информавтодор, 2001. – 145 с.
- [4] 中华人民共和国交通部.JTG D20-2006公路路线设计规范. 人民交通出版社.2006
- [5] «Filing system» of physiographic units helps to resolve local design criteria // Highway Res. News. – 1973. – № 51. – P. 42–60.
- [6] Richtlinien für die Standartisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen: RStO 01. – Köln.: FGSV-Verlag, 2001.
- [7] Groney, D. The design and performance of road pavements / D. Groney. – London: Transport and road research laboratory, 1977. – 673 p.
- [8] Автомобильные дороги: СНиП РК 3.03-09-2006*. – Астана.: Проектная академия "KAZGOR", 2014. – 51 с.
- [9] Автомобильные дороги. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования: ТКП 45-3.03-112-2008. – Минск.: Минстройархитектуры, 2009. – 86 с.
- [10] Проектирование. Автомобильные дороги: СНиП КР 32-01:2004. – Бишкек.: Госкомархстрой при Правительстве Кыргызской Республики, 2004 – 85 с.
- [11] Ефименко, С.В. К уточнению схемы дорожно-климатического районирования территорий на примере районов Западной Сибири / С.В. Ефименко, В.Н. Ефименко, Афиногенов А.О. // Вестник ТГАСУ. – 2014. – №1 – С. 125–134.
- [12] Ефименко, С.В. Дорожное районирование территории Западной Сибири : монография / С.В. Ефименко, М.В. Бадина. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2014. – 244 с.
- [13] Ушаков, В.В. Дорожно-климатическое районирование автомобильной дороги «Амур» Чита – Хабаровск по условиям строительства и эксплуатации / В.В. Ушаков, В.Н. Ефименко, А.В. Вишневецкий // Автомобильные дороги. – 2007. – № 5. – С. 77–79.
- [14] Ярмолинский, В.А. Районирование территории Хабаровского края при проведении снегоочистки автомобильных дорог / В.А. Ярмолинский // Вестник ТГАСУ. – 2014. – №5. – С. 152–158.
- [15] Янковская, А.Е. Применение матричных моделей для создания интеллектуальной информационной технологии в сфере государственного и муниципального управления / А.Е. Янковская, В.Н. Ефименко, С.В. Ефименко, Д.Н. Черепанов // Нечёткие системы и мягкие вычисления (НСМВ-2014): труды Шестой всероссийской научной-практической конференции. – СПб.: Политехника-сервис, 2014. – Т. 2. – С. 118–127.
- [16] Yankovskaya, A. Data and Knowledge Base on the Basis of the Expanded Matrix Model of Their Representation for the Intelligent System of Road-Climatic Zoning of Territories / A. Yankovskaya, D. Cherepanov, O. Selivanikova // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – 142. – 012041.
- [17] Efimenko, V.N. Accounting for natural-climatic conditions in the design of roads in western Siberia / V.N. Efimenko, S.V. Efimenko, A.V. Sukhorukov // Sciences in Cold and Arid Regions. – 2015. – Vol. 7. – Issue 4. – P. 307–315.
- [18] Ефименко, С.В. Учёт территориальной однородности географических комплексов при проектировании автомобильных дорог / С.В. Ефименко // Вестник ТГАСУ. – 2015. – № 3. – С. 226–236.
- [19] Yankovskaya, A. Family of 2-simplex cognitive tools and their application for decision-making and its justifications / A. Yankovskaya, A. Yamshanov // Computer Science & Information Technology (CS & IT). – 2016. – Vol. 6. – Issue 1. – P. 63–76.
- [20] Yankovskaya, A. Bases of intelligent system creation of decision making support on road-climatic zoning / A. Yankovskaya, A. Yamshanov // Pattern Recognition and Information Processing (PRIP'2014): Proceedings of the 12th International Conference. – Minsk: UIIP NASB. – 2014. – P. 311–315.